

学校编码: 10384
学号: 33120131152835

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

微带可重构天线与滤波器研究

**The Research of Microstrip Reconfigurable Antennas and
Microstrip Reconfigurable Filters**

余 敏

指导教师姓名: 叶龙芳 助理教授

专 业 名 称: 电磁场与微波技术

论文提交日期: 2016 年 04 月

论文答辩时间: 2016 年 05 月

学位授予日期: 2016 年 06 月

答辩委员会主席: 肖芬教授
评 阅 人: _____

2016 年 06 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名):

余敏

2016年5月30日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

- () 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。
- () 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：余敏

2016年5月30日

目 录

中文摘要	i
ABSTRACT	ii
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 微带器件发展概述.....	3
1.3 微带可重构天线与滤波器国内外研究现状.....	4
1.3.1 微带可重构天线研究现状.....	4
1.3.2 微带频率可重构带阻滤波器研究现状.....	7
1.3.3 宽带带通滤波器研究现状.....	9
1.4 本文的结构安排.....	10
第二章 极化可重构天线设计	13
2.1 引言	13
2.2 微带天线基本概念	13
2.3 极化可重构微带圆形贴片天线设计	15
2.3.1 圆极化微带圆形贴片天线原理.....	15
2.3.2 极化可重构微带圆形贴片天线设计过程.....	16
2.3.3 极化可重构微带圆形贴片天线 I	18
2.3.4 极化可重构微带圆形贴片天线 II	21
2.4 本章小结.....	24
第三章 频率可重构带阻滤波器设计	25
3.1 引言	25
3.2 微带滤波器基本概念	25
3.3 微带带阻滤波器原理概述	26
3.3.1 带阻滤波器简述.....	26
3.3.2 微波谐振器.....	27
3.3.3 传输线谐振器.....	28
3.4 $\lambda/4$ 开路支节带阻滤波器设计	30

3.4.1	单 $\lambda/4$ 开路支节带阻滤波器.....	31
3.4.2	双 $\lambda/4$ 开路支节带阻滤波器.....	33
3.5	基于变容二极管的可重构 $\lambda/4$ 开路支节带阻滤波器.....	35
3.5.1	变容二极管与滤波器调谐原理.....	35
3.5.2	基于变容二极管的可重构 $\lambda/4$ 开路支节带阻滤波器设计.....	37
3.5.3	基于变容二极管的可重构 L 型开路支节带阻滤波器设计.....	42
3.6	本章小结.....	45
第四章	具有寄生通带抑制性能的宽带滤波器.....	47
4.1	引言.....	47
4.2	阶梯阻抗谐振器理论.....	47
4.3	宽带带通滤波器仿真与测试.....	48
4.3.1	宽带带通滤波器 L1:1.05GHz-1.5GHz.....	49
4.3.2	宽带带通滤波器 L2:1.3GHz-1.9GHz.....	50
4.3.3	宽带带通滤波器 L3:1.6GHz-2.4GHz.....	51
4.4	本章小结.....	53
第五章	总结和展望.....	55
5.1	总结.....	55
5.2	展望.....	56
参考文献.....		58
科研成果情况.....		60
致 谢.....		61

CONTENTS

Chinese Abstract	i
English Abstract	ii
Chapter 1 Preface.....	1
1.1 Research background.....	1
1.2 Development overview of microstrip components.....	3
1.3 Research status of microstrip reconfigurable antennas and filters	4
1.3.1 Research status of microstrip reconfigurable antennas.....	4
1.3.2 Research status of microstrip reconfigurable filters	7
1.3.3 Research status of microstrip wideband bandpass filters	9
1.4 Structure of this thesis.....	10
Chapter 2 Design of microstrip polarization reconfigurable antennas	
.....	13
2.1 Introduction	13
2.2 Basic concept of microstrip antenna.....	13
2.3 Novel design of microstrip polarization reconfigurable antennas	15
2.3.1 Basic concept of circular polarization microstrip antenna.....	15
2.3.2 Design process of polarization reconfigurable antennas	16
2.3.3 Design of polarization reconfigurable antenna I	18
2.3.4 Design of polarization reconfigurable antenna II	21
2.4 Summary	24
Chapter 3 Design of reconfigurable bandstop filters	25
3.1 Introduction	25
3.2 Basic concept of microstrip filter	25
3.3 Theory of microstrip bandstop filter	26
3.3.1 Realization of bandstop filter.....	26
3.3.2 Microwave resonator	27
3.3.3 Transmission line resonator	28
3.4 Design of $\lambda/4$ open-circuited stub bandstop filters	30
3.4.1 Single $\lambda/4$ open-circuited stub bandstop filter	31
3.4.2 Double $\lambda/4$ open-circuited stub bandstop filter.....	33
3.5 Design of reconfigurable bandstop filter loaded with varactors.....	35

3.5.1	Tuning relationship between varactor and filter	35
3.5.2	Design of reconfigurable $\lambda/4$ open-circuited stub bandstop filter....	37
3.5.3	Design of reconfigurable L-shape stub bandstop filter.....	42
3.6	Summary	45
Chapter 4	The research of wideband bandpass filters.....	47
4.1	Introduction	47
4.2	Theory of stepped impedance resonator	47
4.3	Simulation and measurement of wideband bandpass filters.....	48
3.3.1	Wideband bandpass filter L1:1.05GHz-1.5GHz.....	49
3.3.2	Wideband bandpass filter L2:1.3GHz-1.9GHz.....	50
3.3.3	Wideband bandpass filter L3:1.6GHz-2.4GHz.....	51
4.4	Summary	53
Chapter 5	Summary and prospect	55
5.1	Summary	55
5.2	Prospect	56
References	58
Acknowledgements	60
Appendix Publications	61

中文摘要

微带线是微波电路中最常用的一种平面型集成传输线，与波导、同轴线等微波传输线相比，具有质量轻、体积小、价格低廉、可靠性高、易于系统集成等显著优点。

微带天线在通信系统中应用广泛，本文根据微带天线原理和圆极化圆形贴片天线原理，应用 PIN 二极管状态的切换实现分离单元的连接与断开，获得能够在多种极化方式之间切换的新型极化可重构天线。本文主要设计了两种不同形式极化可重构天线，包括构造了两个分离单元的极化可重构微带圆形贴片天线 I 和构造了四个分离单元的极化可重构微带圆形贴片天线 II，最后仿真和测试结果显示通过控制 PIN 二极管状态的切换实现天线在圆极化与线极化之间的切换。

本文另一主要研究是基于微带线结构的频率可重构带阻滤波器，通过主传输线上加载 $\lambda/4$ 开路支节谐振器获得带阻滤波器基本结构。利用变容二极管电容值随反向偏置电压增大而减小的特性，实现该带阻滤波器频率可重构特性。利用 Ansoft HFSS 软件中建模仿真分析及优化，设计了具有双 $\lambda/4$ 开路支节的可重构带阻滤波器，在此基础上，采用 L 型开路支节实现了可重构滤波器的小型化。实验测试结果表明双 $\lambda/4$ 开路支节频率可重构带阻滤波器的中心频率调谐范围为 2.136GHz-3.304GHz；频率可重构双 L 型开路支节带阻滤波器的中心频率调谐范围为 2.196GHz-3.394GHz，且在对应频率调谐范围内，两款带阻滤波器中心频率抑制深度均保持大于 30dB。

针对宽带带通滤波器在通信系统中的应用需求，基于微带滤波器理论和阶梯阻抗谐振器理论，仿真测试三个不同频段的宽带带通滤波器，包含 1.05GHz-1.5GHz，1.3GHz-1.9GHz，1.6GHz-2.4GHz 三个频段。根据所使用的微带滤波器结构，在 HFSS 中建模仿真优化，选择合适的介质基板，并加工测试实物，获得三个具有良好通带性能、高选择性并能够抑制寄生通带的微带宽带带通滤波器。

关键词：可重构天线； 可重构滤波器； 宽带滤波器。

ABSTRACT

Microstrip line is one of the most used planar integrated transmission line for microwave circuits applications. Comparing with coaxial line and waveguide, it has advantages of light weight, small size, low cost, high reliability and it's easy to be integrated in system.

Microstrip antennas have been applied in modern communication systems. In this thesis, we construct some separating units on circular microstrip antenna which are switched by PIN diodes. Therefore, we can obtain 90° phase shift to realize the circular polarization. Finally, the circular microstrip antenna can be switched with three polarization states by controlling the PIN diodes. Antenna I has two separating units and Antenna II has four separating units. Both of these antennas realize the polarization diversities.

In this thesis, microstrip reconfigurable bandstop filters have been proposed, which consists of main transmission line loaded with two open stub resonators. On the resonators, we can apply two varactor diodes at the same place to realize the tunability of the bandstop filter. By modeling the reconfigurable bandstop filter in HFSS software, we can simulate the structure of the microstrip reconfigurable bandstop filter and optimize it. The measured results show that the tunable frequency range is 2.136GHz-3.304GHz. Tuning range of L-shape reconfigurable bandstop filter is 2.196GHz-3.394GHz. Both of the bandstop filters can keep the notch depth more than 30dB during their tuning range.

To satisfy the requirement of wideband bandpass filter in communication system, three wideband bandpass filters have been simulated and tested according to the microstrip filter theory and stepped impedance resonator theory. The bands cover 1.05GHz - 1.5GHz, 1.3GHz - 1.9GHz and 1.6GHz - 2.4GHz. By using stepped impedance resonators, we also build the model in HFSS to simulate and optimize the structures. Through choosing proper dielectric layer, we obtain the microstrip wideband bandpass filter with low insertion loss, high selectivity and far parasitic passband.

Keywords: Reconfigurable Antennas; Reconfigurable Filters; Wideband Filters.

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

从上世纪 80 年代开始, 信息电子技术的发展日新月异, 其中以无线通信技术和互联网技术最为突出, 深刻地改变着人们的生活方式, 不断促进人类社会的发展。时至今日, 人类已经进入信息化时代, 人们对通信领域的要求也越来越高, 尤其是无线通信技术高速发展, 被运用于通信、雷达、导航、电子对抗等多个方面。现今电磁频谱资源愈发紧张, 通信频段越来越多, 频段复用的需求也越来越高, 同时, 随着通信系统集成度的提高, 往往一个平台上包含有多个子系统, 相应的射频前端器件数量也会增加。为了提高通信质量, 实现频谱的高利用率, 减小频段之间的电磁干扰, 减轻通信系统质量, 减小系统体积, 降低通信系统成本, 提高通信系统效率, 通常会考虑使用一个射频器件来实现多个同类器件的功能, 可重构天线与可重构滤波器就是在相应技术要求的背景下受到广泛关注并得以迅速发展。

作为关键的射频器件, 天线与滤波器在通信系统中应用广泛, 与现今通信技术的发展息息相关。对任一无线通信系统, 其信息传输的载体是电磁波, 而电磁波的发射和接收则是依靠天线来完成。为了减小天线这一关键射频器件对整个通信系统发展的制约, 可重构天线于 1983 年被首次提出, 随后美国国防高级研究计划局于 1999 年提出的超宽带方向图可重构天线使得可重构天线受到广泛关注并迅速发展^{[1][2]}。例如软件无线电系统中使用的天线, 其理想状态应能够覆盖全部无线通信频段, 当系统在任一频段工作时都能与相对应的天线实现通信, 就国内外目前的天线设计生产水平而言, 实际中应用的软件无线电多采用组合式多频段天线来达到无线通信频段全覆盖的目的。通常组合天线中不同频段的的天线不能混用, 并且要求具有程控的射频转换功能^{[3][4]}。相对传统的组合天线, 在该系统中使用可重构天线对系统成本、质量、体积这几个方面均有所降低, 并且能够避免多个天线之间的电磁干扰, 使用一个天线即实现了多个天线的功能, 提高了系统的性能和效率^{[5][6]}。

滤波器在通信系统中的作用主要是分离信号的频谱,在发射机与接收机中均被广泛应用,是最基本的信号处理元件之一。在发射机中,滤波器位于功率放大器和天线之间,保证主信号不受其他信号干扰地由天线传播出去,起到了后级滤波的作用。在接收机中,滤波器位于低噪声放大器之后,从天线接收到的所有信号中选取有用信号并抑制干扰信号,提高接收机的信噪比,起到预选滤波器的作用^[7]。现代通信系统中总是存在多种通信信道,因此传统的滤波器由于工作在单一特定的频段已经无法满足现状。为了适应现代通信要求,可调滤波模块被广泛应用,比较传统的做法是采用滤波器组来作为选频模块,但是滤波器组选频时会增加通信系统响应时间,增加射频前端体积,寄生效应明显,整个调谐模块灵敏度差。随着现代微波器件的发展与制作工艺的成熟,为了解决传统滤波器组选频时的缺陷,越来越多体积小、调谐速度快的可重构滤波器被应用到微波系统的选频模块中,射频前端利用可重构滤波器进行频谱分离对通信系统后续处理效率的提高有着至关重要的作用^[8]。

同时,可重构天线与可重构滤波器还被广泛应用于电子对抗中。现代战争中,信息的可靠性和信息的隐蔽性很大程度上决定着成败。为了收集和分类雷达所接收到的信息,接收机的工作频段覆盖很宽;电子反侦察系统为了进行有效对抗,发射机的工作频段覆盖也很宽。基于系统安全的考虑,发射机和接收机的工作频段需要任何时候都能在覆盖的宽频段内迅速改变,另外,在宽频段内通信信道的跳跃和电磁波极化的改变同样能够保障信息的保密性。

由此,作为关键的射频器件,可重构天线和可重构滤波器在多频段、多功能以及智能化通信系统设备中的作用越来越重要,因此,极有必要在原有技术基础上对其各个性能方面进行更加深入的研究探索。由于通信系统设备的使用要求较特殊,如软件无线电、一些手持式个人通信设备或者便携式卫星接收机等应用中,通信设备的质量和尺寸要求也越来越高。这些设备中,一般要求天线、滤波器有小尺寸、轻质量、高性能、低成本、易于系统集成等优点。另一方面,由于通信领域的频谱资源有限,频率复用的需求越来越高,对可重构天线和可重构滤波器等器件的发展也提出了新的挑战。本文的主要内容就是基于上述目标和应用背景,探索出符合现代多频段、多功能以及智能化通信要求的微带型极化可重构天线和

可重构带阻滤波器；在此基础上，针对宽带通信系统应用需求，开展具有良好通带特性、高选择性并能够有效抑制寄生通带的宽带带通滤波器研究。

1.2 微带器件发展概述

传统的腔体型微波无源器件由于存在结构复杂、制作成本高等缺点使其在现代通信系统与设备中的应用受到一定的限制。微带线器件的产生与发展，使得通信行业无线技术的发展需求得到满足，被应用于中小功率微波以及毫米波领域。

在上世纪 50 年代以前，微波设备所应用的是金属波导和同轴线电路。为了达到微波电路的小型化，质量轻，性能优等要求，50 年代初提出了第一代微波印制传输线，即带状线，可以在某些场合下制作微波无源电路时取代金属波导和同轴线。后来，芯片式微波固态器件不断发展，出现了新的要求，即要求有适合该类器件输入输出连接的导行系统，便在 60 年代初出现了第二代微波印制传输线，即微带线。微带的尺寸比波导小得多，比较容易与微波固态器件相连接，因此容易构成微波集成电路^[9]。

微带基本结构由介质基片一面上的导体带和另一面上的金属接地板构成，常用介质基板材料为 99% Al_2O_3 瓷、FR4 环氧板或聚四氟乙烯等低微波损耗材料。微带传输线可以由双根传输线演变而来，由于双根传输线的对称性，可以通过在两根传输线镜像对称平面上放置一块金属板来一分为二而不改变场结构。然后，将其中一根传输线移开，另一根传输线与金属板构成一对保持原来双根传输线场结构的一对传输线。接着，将留下的一根传输线改变为导体带，通过在其中放入介质基片支撑来固定导体带与金属板的相对位置，便构成了微带，如图 1.1 所示^[10]。

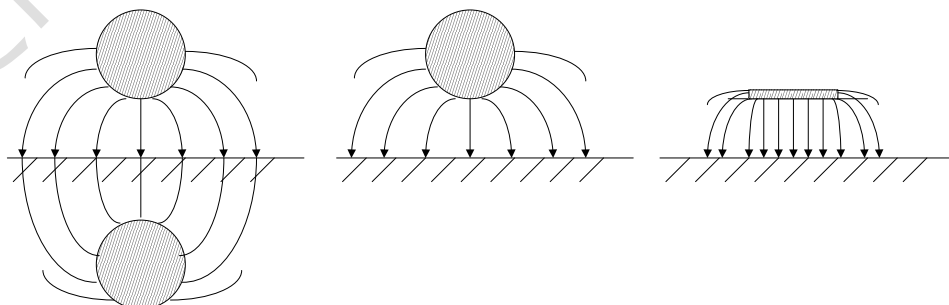


图 1.1 微带线的演变

1.3 微带可重构天线与滤波器国内外研究现状

1.3.1 微带可重构天线研究现状

可重构天线根据其最终重构的参数不同分为频率可重构、方向图可重构、极化可重构以及混合可重构天线。频率可重构天线是保持天线其他特性不变，在一定范围内具有对频率的调谐或者切换能力的天线。天线的工作频率通常与天线的电长度密切相关，因此现今大多数频率可重构天线通过改变其电长度来实现。电长度改变的具体方式包括加载开关如 PIN 二极管、加载可变电抗元件如变容二极管、改变天线机械结构如添加槽缝、改变天线的材料特性等。当天线表面电流流经的有效电长度越长，天线的频率越低，反之有效电长度越短天线频率越高。开关可控缝隙通过在天线上的缝隙加载可控开关来重构天线电长度，实现频率重构，H. A. Majid 等提出了一种在天线背面缝隙加载 PIN 二极管的极化可重构天线，如图 1.2 所示^[11]。该天线正面为 L 型贴片，如图 1.2(a)所示；背面为 L 型开槽缝隙，如图 1.2 (b) 所示。通过在背面缝隙依次加载 5 个 PIN 二极管并独立施加偏压，当 PIN 二极管依次导通时，可通过 PIN 二极管的切换获得六个不同的工作频段。其测量结果显示该频率可重构天线的频率可重构范围从 2.2GHz 到 4.75GHz，如图 1.3 所示。

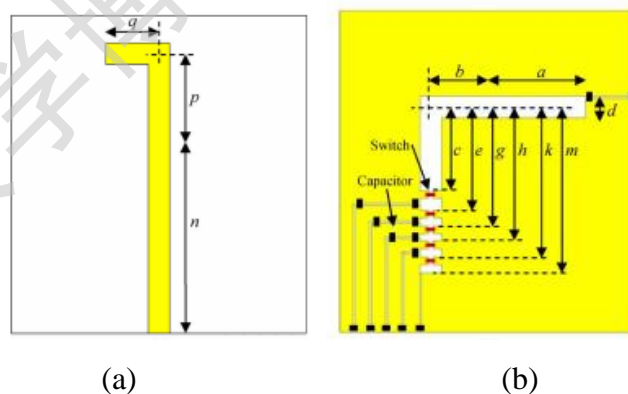


图 1.2 频率可重构天线结构图：(a)正面图；(b)背面图

资料来源： H. A. Majid, M. K. A.Rahim, M. R. Hamid, M.F. Ismail IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012.

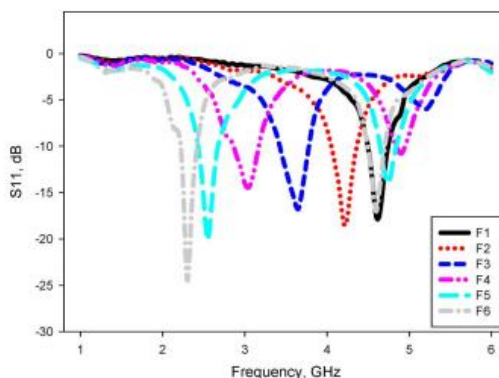


图 1.3 频率可重构天线测试结果图

资料来源：H. A. Majid, M. K. A. Rahim, M. R. Hamid, M.F. Ismail. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012.

方向图可重构天线指在保持天线其他特性参数不变的情况下，对辐射方向图具有调节能力的天线。天线辐射结构上决定天线空间辐射方向图形状的是电流或磁流分布，为了实现方向图可重构特性，需要确定所需要的电流分布，包括幅度和相位。实现天线方向图可重构的具体方式包括调节天线寄生元素的电特性，改变天线机械结构，改变天线的材料特性等。S. J. Shi 和 W. P. Ding 提出一个运用于 WiMAX 频段的方向图可重构微带天线，其重构机制通过控制 PIN 二极管开关状态来实现辐射单元的连接与断开，依次激活各个 PIN 二极管，可以实现 3.44GHz-3.6GHz 频段方向图方位面翻转 90° ，同时水平面偏移 30° [12]。

极化可重构天线一般是指天线的极化方式可变，而其中心频率和辐射方向图保持不变的天线。对于极化可重构天线的类型，包括垂直极化和水平极化之间的切换、左旋/右旋圆极化之间的切换、圆极化与线极化之间的切换。极化可重构天线的实现方式有可控的馈电系统、可控缝隙和改变材料特性等。对馈电系统进行可控可以加载可变电抗、改变馈电位置，可控缝隙即在合适位置蚀刻缝隙后，利用射频开关改变电流流动路径。B. Kim 等介绍了一种单馈电点的极化可重构微带圆形贴片天线，通过在圆形贴片上开弧形槽并在该槽上加载 PIN 二极管，通过控制槽上 PIN 二极管的通断，实现微带圆形贴片天线的极化可重构特性，其实物如图 1.4 所示。另外，文中在微带馈线上加载阻抗匹配支节，优化了天线性能。测试结果显示该极化可重构天线可在左旋圆极化、右旋圆极化以及线极化之间进行极化重构 [13]。

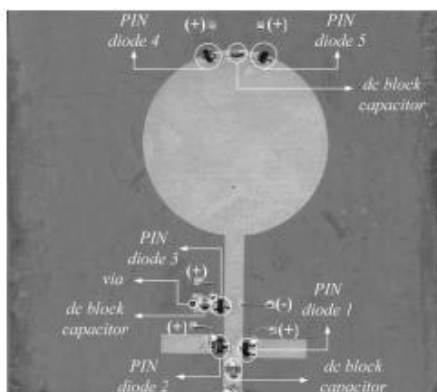


图 1.4 极化可重构天线实物图

资料来源: B. Kim, B. Pan, S. Nikolaou, Y.-S. Kin, J. Papapolymerou, M. M. Tentzeris. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2008.

除了上述三种参数可重构天线以外, 还有两个或三个性能参数均可重构的天线即混合可重构天线。现今混合可重构天线的研究与设计已经有很多, 对微波多功能通信系统及小型化具有十分重要的意义。P. Y. Qin 等所提出的混合可重构天线既能对天线工作频率进行可重构, 也可以对其极化方式进行可重构。如图 1.5 所示, 文中所提出的频率和极化混合可重构天线的馈电方式为同轴馈电, 基本结构为矩形贴片, 其极化方式的重构通过 PIN 二极管实现, 可以在水平极化、垂直极化以及 45° 极化之间进行切换。对于每一种极化方式, 均能通过对加载在矩形贴片边缘的变容二极管进行调节而实现工作频率的可重构^[14]。

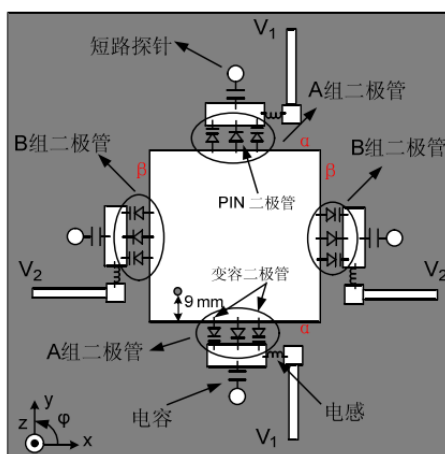


图 1.5 频率和极化可重构天线结构示意图

资料来源: P.-Y. Qin, Y. J. Guo, Y. Cai, E. Dutkiewicz, C.H. Liang. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011.

可重构天线作为一种新的天线形式, 有着其他天线无法比拟的可重构功能,

可重构天线在电子侦察、电子对抗等应用中起到避免自身或者外界干扰的作用，对保密通信方面有着十分重要的价值。同时，可重构天线在保证通信质量的前提下，用一根天线或者很少几根天线即可满足无线系统多功能的要求，这样可以使得整个信息系统的结构更简单。本文对基于 PIN 二极管加载的新型可重构微带天线展开了深入研究，提出了能够实现极化可重构的微带圆形贴片天线。

1.3.2 微带频率可重构带阻滤波器研究现状

目前，常用于实现频率可重构带阻滤波器的方式主要有以下几种：应用磁性材料、铁电体部件，加载 PIN 二极管、变容二极管，以及使用微机电系统(MEMS)技术等。C. S. Tsai 和 G. Qiu 提出了基于铁磁共振(FMR)的宽带微波带阻滤波器和带通滤波器，该原理上所提出的滤波器，使用微波铁氧体器件倒装芯片，为钆镨石榴石-砷化镓层结构^[15]。通过使用折叠线微带线和阶梯阻抗低通滤波器设计不均一磁场，可同时获得可调带宽的增加和最大峰值水平的增加。该文献中所提出的带阻滤波器，铁磁谐振吸收频率可从 5GHz 调谐至 21GHz，最大抑制深度达到-35.5dB，中心频率为 20.3GHz 时 3dB 谐振带宽可达 1.70GHz。对带通滤波器，其频率调谐范围为 5.9GHz-17.8GHz，通带带宽为 1.27GHz-2.08GHz，带外抑制为-33.5dB。

Y. H. Chun 等提出的可调带阻滤波器基于接地板开槽结构，带阻谐振频率由开环槽谐振器产生，该谐振器特点为改变其尺寸时能够获得设计的最终适合结构^[16]。在确定结构之后，通过使用钛酸锶钡 BST 变容管芯片来调谐各个谐振器，各变容管芯片位置可根据最优的频率调谐利用电磁仿真获得。最终实现的三极点带阻滤波器测量结果显示其中心频率调谐范围为 4.5GHz - 5.5GHz，阻带抑制大于 20dB，且阻带内插入损耗小于 1.5dB。

Q. Y. Xiang 等提出了一种新型微带带阻滤波器，并将此带阻滤波器结构应用到可重构滤波器^[17]。该新型微带带阻滤波器结构基于 LC 谐振器设计，并实现了 1 位二进制频率可重构带阻滤波器。文献中，所提出的 LC 谐振器具有开放结构，十分适合加载可调电容。通过建立集总元件模型，研究了该带阻滤波器的频率可重构机理，结果显示该滤波器阻带可通过加载电容实现重构特性。对于该带阻滤波器，主要通过在该新型带阻滤波器原有结构基础上加载两个可切换的 6.5mm × 0.508mm Rogers 5880 金属平面 PCB 电容。测量结果显示该带阻滤波器具有两

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.